6.1.6. Вывод формулы для систематической погрешности удельного сопротивления металла.

$$\rho = \frac{R_{cp} \cdot \pi \cdot D^2}{4l}; \quad \rho = \rho(R_{cp}, l, D) \quad \theta_\rho = \rho\left(\frac{\theta_R}{\bar{R}} + \frac{\theta_l}{l} + 2\frac{\theta_D}{D}\right)$$

Вычисления по выведенной формуле:

$$\theta_\rho = \rho\left(\frac{\theta_R}{\bar{R}} + \frac{\theta_l}{l} + 2\frac{\theta_D}{D}\right) = 1{,}1 \cdot 10^{-6}\left(\frac{0{,}2}{2{,}2} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0{,}20} + 2\frac{0{,}5 \cdot 10^{-5}}{0{,}36 \cdot 10^{-3}}\right) =$$

$$= 1{,}1 \cdot 10^{-6}\left(\frac{0{,}2}{2{,}2} + \frac{0{,}002}{0{,}2} + \frac{0{,}01 \cdot 10^{-3}}{0{,}36 \cdot 10^{-3}}\right) = 0{,}1 \cdot 10^{-6} (Ом \cdot м)$$

6.2. Случайные погрешности.

6.2.1. Средняя квадратичная погрешность отдельного измерения.

$$S_R = \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \ldots + (R_N - R_{cp})^2}{N-1}};$$

$$S_R = \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \ldots + (R_{11} - R_{cp})^2 + \ldots + (R_{20} - R_{cp})^2}{19}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(2{,}10 - 2{,}2)^2 + (2{,}15 - 2{,}2)^2 + \ldots + (2{,}31 - 2{,}2)^2 + \ldots + (2{,}31 - 2{,}2)^2}{19}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0{,}01 + 2{,}5 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-4} + 0 + 1 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-4} + 9 \cdot 10^{-4} + 1{,}6 \cdot 10^{-3} + 0{,}0256 + \ldots}{19}}$$

$$\overline{\ldots + 0{,}0324 + 0{,}0121 + 1{,}6 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-4} + 1{,}6 \cdot 10^{-3} + 3{,}6 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-4} + \ldots}$$
$$19$$

$$\ldots \frac{+ 0 + 0{,}0169 + 0{,}0121}{19} = \sqrt{\frac{0{,}1202}{19}} = 0{,}079 \approx 0{,}08 (Ом)$$

5. Примеры вычислений

Для таблицы 4.1 схема А

по формуле (1) $R = \frac{U}{I} = \frac{0{,}15}{0{,}065} = 2{,}30$ (Ом)

по формуле (2) $R = \frac{U}{I} - R_A$; $R = \frac{0{,}15}{0{,}065} - 0{,}2$

$R = 2{,}10$ (Ом)

Для таблицы 4.2 схема В

по формуле (3) $R = \left(\frac{I}{U} - \frac{1}{R_V}\right)^{-1} = \left(\frac{0{,}065}{0{,}15} - \frac{1}{2500}\right)^{-1}$

$R \approx 2{,}31$ (Ом)

Для таблицы 4.1 и 4.2

по формуле (4)

$$R_{ср} = \frac{2{,}10 + 2{,}15 + 2{,}18 + 2{,}20 + 2{,}21 + 2{,}22 + 2{,}23 + 2{,}24 + 2{,}36 + 2{,}38}{20} +$$

$$+ \frac{2{,}31 + 2{,}24 + 2{,}19 + 2{,}24 + 2{,}14 + 2{,}18 + 2{,}22 + 2{,}20 + 2{,}33 + 2{,}31}{20} =$$

$= 2{,}2315 \approx 2{,}2$ (Ом).

по формуле (5)

$$\rho = \frac{R_{ср} \cdot \Pi \cdot D^2}{4l} = \frac{2{,}2 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}36 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 20 \cdot 10^{-2}} = 1{,}1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом·м}.$$

R, Ом
5,2
4,2
3,1
2,1
1
10
20
30
40
50
l, см

7. Графики.

На странице 11 изображен график зависимости $R = f(t)$

6.2.2. Среднее квадратичное отклонение

$$S_{R_{cp}} = \sqrt{\frac{(R_1-R_{cp})^2+(R_2-R_{cp})^2+\ldots+(R_N-R_{cp})^2}{(N-1)N}} = \frac{S_R}{\sqrt{N}}$$

$$S_{R_{cp}} = \frac{0{,}08}{\sqrt{20}} = 0{,}0178 \approx 0{,}02 \text{ (Ом)}$$

$S_R \leq \theta_R$; $S_{R_{cp}} < \theta_R$

$0{,}08$ Ом $< 0{,}1$ Ом , т.е. $S_R < \theta_R$;

$0{,}02$ Ом $\ll 0{,}1$ Ом , т.е. $S_{R_{cp}} \ll \theta_R$

6.2.3. Случайные погрешности удельного сопротивления:

$$\rho = \frac{R_{cp}\,\pi \cdot D^2}{4l}, \Rightarrow S_{\overline{\rho}} = S_{R_{cp}}\frac{\pi D^2}{4l} = \frac{R_{cp}\cdot\pi D^2}{4l}\cdot\frac{S_{R_{cp}}}{R_{cp}}, \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S_{\overline{\rho}} = \frac{\rho S_{R_{cp}}}{R_{cp}}.$$

$$S_\rho = \frac{\rho S_{R_{cp}}}{R_{cp}} = \frac{1{,}1\cdot10^{-6}\cdot0{,}02}{2{,}2} = 1\cdot10^{-8} \text{ (Ом·м)}$$

6.3. Полная погрешность

Так как выполняется $\theta_R \geq S_R \gg S_{R_{cp}}$, а измеряемая величина неслучайна, то

$\Delta_R = \theta_R = 0{,}1$ Ом

$\Delta\rho = \theta_\rho = 0{,}1\cdot10^{-6}$ Ом·м

6. Вычисление погрешностей.

6.1. Систематические погрешности

6.1.1. $\theta_I = \frac{I_m K_I}{100} = \frac{0{,}25 \cdot 1{,}5}{100} = 3{,}75 \cdot 10^{-3} \approx 0{,}004$ (A)

6.1.2. $\theta_U = \frac{U_m K_U}{100} = \frac{1{,}5 \cdot 1{,}5}{100} = 0{,}0225 \approx 0{,}02$ (B)

6.1.3. $\theta_\ell = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

6.1.4. $\theta_D = 0{,}5 \cdot 10^{-5}$ м.

6.1.5. Вывод формулы для систематической погрешности косвенного измерения электрического сопротивления.

$$R = R(U, I) = \frac{U}{I} \Rightarrow \theta_R = R\left(\frac{\theta_U}{|U|} + \frac{\theta_I}{|I|}\right)$$

Вычисления по введенной формуле:

Схема А

$$\theta_{R_1} = R_1\left(\frac{\theta_U}{U_1} + \frac{\theta_I}{I_1}\right) = 2{,}10\left(\frac{0{,}02}{0{,}15} + \frac{0{,}004}{0{,}065}\right) = 0{,}409 \approx 0{,}4 \text{ (Ом)}$$

$$\theta_{R_5} = R_5\left(\frac{\theta_U}{U_5} + \frac{\theta_I}{I_5}\right) = 2{,}21\left(\frac{0{,}02}{0{,}35} + \frac{0{,}004}{0{,}145}\right) = 0{,}187 \approx 0{,}2 \text{ (Ом)}$$

$$\theta_{R_{10}} = R_{10}\left(\frac{\theta_U}{U_{10}} + \frac{\theta_I}{I_{10}}\right) = 2{,}38\left(\frac{0{,}02}{0{,}58} + \frac{0{,}004}{0{,}225}\right) = 0{,}12438 \approx 0{,}1 \text{ (Ом)}$$

Схема В

$$\theta_{R_1} = R_1\left(\frac{\theta_U}{U_1} + \frac{\theta_I}{I_1}\right) = 2{,}31\left(\frac{0{,}02}{0{,}15} + \frac{0{,}004}{0{,}065}\right) = 0{,}408 \approx 0{,}4 \text{ (Ом)}$$

$$\theta_{R_5} = R_5\left(\frac{\theta_U}{U_5} + \frac{\theta_I}{I_5}\right) = 2{,}14\left(\frac{0{,}02}{0{,}31} + \frac{0{,}004}{0{,}145}\right) = 0{,}197 \approx 0{,}2 \text{ (Ом)}$$

$$\theta_{R_{10}} = R_{10}\left(\frac{\theta_U}{U_{10}} + \frac{\theta_I}{I_{10}}\right) = 2{,}31\left(\frac{0{,}02}{0{,}53} + \frac{0{,}004}{0{,}230}\right) = 0{,}12734 \approx 0{,}1 \text{ (Ом)}$$

В качестве систематической погрешности итогового результата берем значение, полученное при самом большом токе в схеме А $\theta_{R_{ср}} = 0{,}1$ Ом.

8. Окончательные результаты, их обсуждение, выводы.

- Ознакомился с методикой обработки результатов косвенных измерений.
- Электрическое сопротивление провода $R = 2{,}2 \pm 0{,}1$ Ом, с вероятностью $P = 95\%$
- Удельное сопротивление нихрома $\rho = (1{,}1 \pm 0{,}1)10^{-6}$ Ом·м с вероятностью $P = 95\%$
- Экспериментально определенное значение ρ в пределах погрешности совпадает с табличным значением нихрома $\rho = 1{,}05 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.
- Из проведенных опытов видно, что каждое сопротивление в таблице 4.1, 4.2 отличается от $R_{ср}$ меньше, чем на систематическую погрешность θ_R. Это обозначает, что электрическое сопротивление не зависит от протекающего тока и от падения напряжения на нем, т.е. справедлив закон Ома.
- Учет сопротивления амперметра приводит к поправке 0,2 Ом, учет сопротивления вольтметра приводит к поправке 0,02 Ом. Поскольку результат приходится округлять до десятых долей Ома, поправку на сопротивление вольтметра по формуле (3) можно не делать. Значит, для схемы В электрическое сопротивление можно вычислять по закону Ома без поправок.

4. Результаты измерений и вычислений

Схема А Таблица 4.1.

U, В	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,58
I, A	0,065	0,085	0,105	0,125	0,145	0,165	0,185	0,205	0,215	0,225
U/I, Ом	2,30	2,35	2,38	2,40	2,41	2,42	2,43	2,44	2,56	2,58
R, Ом	2,10	2,15	2,18	2,20	2,21	2,22	2,23	2,24	2,36	2,38
θ_R, Ом	0,4				0,2					0,1

Схема В Таблица 4.2

U, В	0,15	0,19	0,23	0,28	0,31	0,36	0,41	0,45	0,50	0,53
I, A	0,065	0,085	0,105	0,125	0,145	0,165	0,185	0,205	0,215	0,230
U/I, Ом	2,31	2,23	2,19	2,24	2,14	2,18	2,22	2,19	2,32	2,30
R, Ом	2,31	2,24	2,19	2,24	2,14	2,18	2,22	2,20	2,33	2,31
θ_R, Ом	0,4				0,2					0,1

$R_{ср} = 2{,}2$ Ом $\rho = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м

Зависимость сопротивления от длины проводника.

Схема В

l, м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
I mA	100				
U, В	0,10	0,21	0,31	0,42	0,52
R	1	2,1	3,1	4,2	5,2

ГУАП

Кафедра № 3

Отчет

Защищен с оценкой

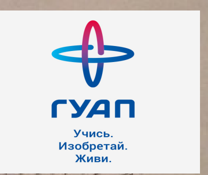
Преподаватель

должность, уч. степень, звание | подпись, дата | инициалы, фамилия

Отчет о лабораторной работе № 1

Определение электрического сопротивления

по курсу: ОБЩАЯ ФИЗИКА



Работу выполнил

Студент гр. 4710 | подпись, дата | инициалы, фамилия

Санкт-Петербург

2017

Протокол
Лабор. работы № 1.
Измер. эл. сопротивл. ;

Выполнил ст. гр. 4710

28.09.17 Фадеев Сергей Павлович

Т.Т.Х.П.

Прибор	Д. max.	Ц.Д.	Класс точности прибора (К.Т.)	$\Theta_{I,U} = \frac{D_{max} \cdot K.T.}{100}$
Вольтметр	1,5 В	0,05 В	1,5	0,02 В
Миллиамп.	250 мА	5 мА	1,5	4 мА
Линейка	50 см	1 мм	—	0,5 мм

Результаты измерений Задание 1. сх А. l

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема А l=20	I, mA	65 min	85 min+	105	125	145	165	185	205	215	225 max
	U, В	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,58
Схема В l=20	I mA	65	85	105	125	145	165	185	205	215	230
	U, В	0,15	0,19	0,23	0,28	0,31	0,36	0,41	0,45	0,50	0,53

З-ние 3

Схема В					
l	10	20	30	40	50
I mA	100 mA				
U, В	0,10	0,21	0,31	0,42	0,52

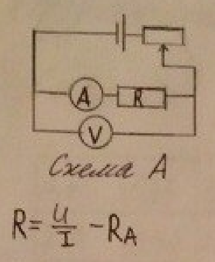


Схема А

$R = \frac{U}{I} - R_A$

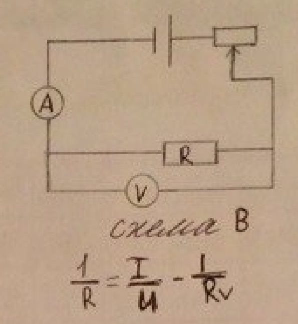


схема В

$\frac{1}{R} = \frac{I}{U} - \frac{1}{R_V}$

Таблица технических характеристик прибора

Прибор	D max	ц.д.	Класс точности прибора (К.Т.)	$\theta_{I,U} = \frac{D_{max} \cdot KT}{100}$
Вольтметр	1,5 В	0,05 В	1,5	0,02 В
Милиамп.	250 мА	5 мА	1,5	4 мА
Линейка	50 см	1 мм	—	0,5 мм

3. Рабочие формулы

Вычисление электрического сопротивления

Закон Ома $R = \frac{U}{I}$ (1)

для схемы А $R = \frac{U}{I} - R_A$ (2)

для схемы В $R = \left(\frac{I}{U} - \frac{1}{R_V}\right)^{-1}$ (3)

В этих формулах R - электрическое сопротивление проводника, U - падение напряжения на проводнике, I - сила тока в проводнике, R_A - сопротивление амперметра, R_V - сопротивление вольтметра.

$$R_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n}, \quad (4)$$

где $R_{ср}$ - среднее значение сопротивления, n - число измерений.

$$\rho = \frac{R_{ср} \cdot \pi \cdot D^2}{4l}, \quad (5)$$

где ρ - удельное сопротивление металла, l - длина провода, D - диаметр провода

1. Цель работы

- ознакомление с методикой обработки результатов измерений;
- определение электрического сопротивления провода;
- экспериментальная проверка закона Ома;
- определение удельного сопротивления нихрома;
- сравнение двух электрических схем.

2. Описание лабораторной установки.

Рабочая установка содержит измерительную часть, включающую вольтметр, миллиамперметр и стойку с нанесенной метрической шкалой. На стойке смонтированы два неподвижных кронштейна, между которыми натянут исследуемый провод, и третий подвижный кронштейн с контактным зажимом. На подвижном кронштейне нанесена риска, облегчающая определение длины исследуемого провода.

Параметры установки:
сопротивление вольтметра $R_V = 2500$ Ом,
сопротивление амперметра $R_A = 0{,}2$ Ом,
диаметр провода $D = 0{,}36$ мм,
длина провода $l = 20$ см.